

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-96187

(P2002-96187A)

(43)公開日 平成14年4月2日(2002.4.2)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
B 2 3 K 26/06		B 2 3 K 26/06	E 4 E 0 6 8
			C 5 F 0 7 2
26/00		26/00	N
	3 3 0		3 3 0
G 0 2 B 27/09		H 0 1 S 3/00	B

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-282605(P2000-282605)

(22)出願日 平成12年9月18日(2000.9.18)

(71)出願人 000002107

住友重機械工業株式会社

東京都品川区北品川五丁目9番11号

(72)発明者 常見 明良

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重

機械工業株式会社平塚事業所内

(74)代理人 100091340

弁理士 高橋 敬四郎 (外2名)

Fターム(参考) 4E068 AF00 CA01 CA03 CA05 CB08

CB10 CD03 CD05 CD08

5F072 SS06 YY06

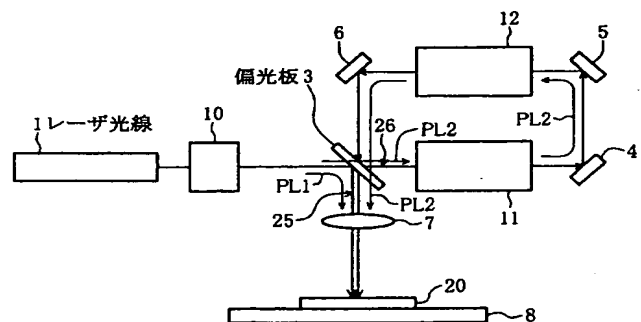
(54)【発明の名称】 レーザ加工装置及び加工方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 加工対象物の材質や構造、加工すべき穴の形状に応じて、パルスレーザビームの特性を柔軟に変えることが可能なレーザ加工装置を提供する。

【解決手段】 第1の光学素子10が、レーザ光源1から出射したパルスレーザビームを第1の光軸25に沿って伝搬する第1のビームと第2の光軸26に沿って伝搬する第2のビームとに分岐させる。第2のビームの光学的特性を変化させる第2の光学素子11が、第2のビームの光路内に配置されている。第3の光学素子12が、第2の光学素子11により光学的特性を変化させられた第2のビーム26と第1のビーム25とを、同一の光軸に沿って伝搬させる。ステージ8が加工対象物20を保持する。第4の光学素子7が、同一の光軸に沿って伝搬する第1及び第2のビームを加工対象物20上に集光する。

レーザ加工装置



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 パルスレーザビームを出射するレーザ光源と、

前記レーザ光源から出射したパルスレーザビームを少なくとも第 1 の光軸に沿って伝搬する第 1 のビームと第 2 の光軸に沿って伝搬する第 2 のビームとに分岐させる第 1 の光学素子と、

前記第 2 のビームの光路内に配置され、該第 2 のビームの光学的特性を変化させる第 2 の光学素子と、

前記第 2 の光学素子により光学的特性を変化させられた第 2 のビームと、前記第 1 のビームとが、同一の光軸に沿って伝搬するように前記第 1 もしくは第 2 のビームの進行方向を変える第 3 の光学素子と、

加工対象物を保持するステージと、

同一の光軸に沿って伝搬する前記第 1 及び第 2 のビームを、前記ステージに保持された加工対象物上に集光する第 4 の光学素子とを有するレーザ加工装置。

【請求項 2】 前記第 2 の光学素子が前記第 2 のビームを遅延させる請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 3】 前記第 2 の光学素子が、ビーム断面内の半径方向に関するパワー密度分布の傾きを逆にする請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 4】 前記第 2 の光学素子が、さらに前記第 2 のビームを遅延させる請求項 3 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 5】 前記第 2 の光学素子が、前記第 2 のビームのパルス幅を短くし、かつ遅延させる請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 6】 前記第 2 の光学素子が、短パルス化された第 2 のビームが前記第 1 のビームのパルスの立ち下がり部分と重なるように該第 2 のビームを遅延させる請求項 5 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 7】 さらに、前記レーザ光源から出射したパルスレーザビームに周波数チャープを付与するチャープ素子を有し、前記第 2 の光学素子が、チャープ補償素子を含む請求項 5 または 6 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 8】 前記第 1 の光学系が、前記レーザ光源から出射したパルスレーザビームを、パルス単位で前記第 1 のビームと第 2 のビームとに振り分ける請求項 1 に記載のレーザ加工装置。

【請求項 9】 パルスの立ち上がりからピークパワーに達するまでの時間が、ピークパワーに達してから立ち下がり完了までの時間よりも長いパルス形状を有するパルスレーザビームを発生させる工程と、

前記パルスレーザビームを加工対象物の表面上に照射して穴開け加工を行う工程とを有するレーザ加工方法。

【請求項 10】 ピークパワーの $1/2$ のパワーになる時刻における立ち上がり部分の傾きの絶対値が、立ち下がり部分の傾きの絶対値よりも小さいパルス形状を有するパルスレーザビームを発生させる工程と、

前記パルスレーザビームを加工対象物の表面上に照射して穴開け加工を行う工程とを有するレーザ加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザ加工装置及び加工方法に関し、加工対象物にパルスレーザビームを照射して穴開け加工を行う加工装置及び加工方法に関する。

【0002】

10 【従来の技術】 従来のレーザ加工では、レーザ光源から出射されたパルスレーザビームを 1 つの加工点に集光することにより加工が行われていた。パルスレーザビームのパルス波形は、レーザ光源によってほぼ決まっている。このため、加工対象物の材質や加工すべき穴の形状によってパルス波形を柔軟に変えることが困難であった。また、加工対象物によって、波長、パルス間隔、ビーム断面内のパワー密度分布等を柔軟に変えて加工を行うことが困難であった。

【0003】

20 【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、加工対象物の材質や構造、加工すべき穴の形状に応じて、パルスレーザビームの特性を柔軟に変えることが可能なレーザ加工装置を提供することである。

【0004】 本発明の他の目的は、加工対象物の熔融等による穴の形状の乱れを防止することが可能なレーザ加工方法を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明の一観点によると、パルスレーザビームを出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射したパルスレーザビームを少なくとも第 1 の光軸に沿って伝搬する第 1 のビームと第 2 の光軸に沿って伝搬する第 2 のビームとに分岐させる第 1 の光学素子と、前記第 2 のビームの光路内に配置され、該第 2 のビームの光学的特性を変化させる第 2 の光学素子と、前記第 2 の光学素子により光学的特性を変化させられた第 2 のビームと、前記第 1 のビームとが、同一の光軸に沿って伝搬するように前記第 1 もしくは第 2 のビームの進行方向を変える第 3 の光学素子と、加工対象物を保持するステージと、同一の光軸に沿って伝搬する前記第 1 及び第 2 のビームを、前記ステージに保持された加工対象物上に集光する第 4 の光学素子とを有するレーザ加工装置が提供される。

【0006】 第 1 のビームと、それとは光学的特性の異なる第 2 のビームとが、同一の光軸に沿って加工対象物上に集光されるため、加工に適したパルス波形等を有するビームで加工を行うことができる。

【0007】 本発明の他の観点によると、パルスの立ち上がりからピークパワーに達するまでの時間が、ピークパワーに達してから立ち下がり完了までの時間よりも長いパルス形状を有するパルスレーザビームを発生させる

工程と、前記パルスレーザビームを加工対象物の表面上に照射して穴開け加工を行う工程とを有するレーザ加工方法が提供される。

【0008】本発明のさらに他の観点によると、ピークパワーの $1/2$ のパワーになる時刻における立ち上がり部分の傾きの絶対値が、立ち下がり部分の傾きの絶対値よりも小さいパルス形状を有するパルスレーザビームを発生させる工程と、前記パルスレーザビームを加工対象物の表面上に照射して穴開け加工を行う工程とを有するレーザ加工方法が提供される。

【0009】パルス波形の立ち下がりが急峻であるため、穴が開いた後に穴の周囲の材料が溶融することを防止できる。これにより、所望の形状の穴を開けることができる。

【0010】

【発明の実施の形態】図1に、本発明の実施例によるレーザ加工装置の概略図を示す。レーザ光源1が、パルスレーザビームを出射する。レーザ光源1は、例えばCO₂ガスレーザ、YAGレーザ、YLFレーザ、YVO₄レーザ、エキシマレーザ、Ti:サファイアレーザ、半導体レーザ、またはアルゴンイオンレーザ等で構成される。レーザ光源1から出射したパルスレーザビームが、偏光板3の第1の面に入射角 45° で入射する。パルスレーザビームのS成分（入射面に対して垂直な方向に偏光した成分）が偏光板3で反射し、光軸25に沿って伝搬する第1のビームPL1となる。パルスレーザビームのP成分（入射面に平行な方向に偏光した成分）は、偏光板3を透過し、光軸26に沿って伝搬する第2のビームPL2となる。偏光板3に入射するパルスレーザビームのS成分とP成分とのエネルギーが等しい場合には、第1のビームPL1と第2のビームPL2との1パルスあたりのエネルギーが等しくなる。

【0011】レーザ光源1と偏光板3との間のパルスレーザビームの光路内に、必要に応じて光学素子10が配置される。パルスレーザビームのS成分とP成分とのエネルギーが等しくない場合には、光学素子10の位置にファラデー回転子を配置することにより、両者のエネルギーを等しくすることができる。なお、ファラデー回転子の外に偏光方向を変化させることができる光学素子、たとえば $1/2$ 波長板や $1/4$ 波長板等を用いることもできる。以下に説明する実施例では、S成分とP成分とのエネルギーが等しいものとする。

【0012】光軸26に沿って伝搬する第2のビームPL2は、反射ミラー4、5、及び6で反射され、偏光板3の第2の面に入射角 45° で再入射する。第2のビームPL2は、偏光板3に対してP成分のみを含むため、偏光板3を透過し、第1のビームPL1と同じ光軸25に沿って伝搬する。必要に応じて、偏光板3と反射ミラー4との間の光路内に光学素子11が配置され、反射ミラー5と6との間の光路内に光学素子12が配置され

る。なお、反射ミラー4と5との間、または反射ミラー6と偏光板3との間の光路内に他の光学素子を配置してもよい。

【0013】ステージ8がその上面に加工対象物20を保持する。集光光学素子7、例えば凸レンズが、第1の光軸25に沿って伝搬する第1のビームPL1及び第2のビームPL2を、加工対象物20の表面上に集光する。

【0014】光学素子11及び12は、第2のビームPL2の光学的特性を変化させる。例えば、波長変換を行ったり、パルス波形を変化させたり、ビーム断面内のパワー密度分布を変化させたり、遅延を生じさせたりする。第1のビームPL1と、光学的特性の変化した第2のビームPL2とが、加工対象物20の表面に照射されることになるため、1つのパルスレーザビームの光学的性質を変化させる場合に比べて、パルスレーザビームの特性を、より柔軟に変化させることが可能になる。

【0015】また、第2のビームPL2の光路内にファラデー回転素子等を配置して偏光方向をずらすと、第2のビームPL2の一部の成分が偏光板3で反射され、光学素子11に再入射する。これにより、ビームが、偏光板3、反射ミラー4、5及び6で画定される周回光路内を周回しながら、少しずつ加工対象物20に導入される。

【0016】次に、図2を参照して、上記実施例の第1の具体例について説明する。第1の具体例では、光学素子11として遅延素子、例えば光ファイバを用い、光学素子12としてアキシコンテレスコープを用いる。

【0017】図2(A)は、第1のビームPL1のビーム断面内のパワー密度分布を示す。一般的に、パワー密度分布はガウス分布で近似できる。図2(B)は、光学素子11を通過した後の第2のビームPL2のパワー密度分布を示す。アキシコンテレスコープを通過させることにより、中央が窪んだ分布とすることが可能である。すなわち、第2のビームPL2の半径方向に関するパワー密度分布の傾きが、第1のビームPL1のそれと逆になる。光学素子12が第2のビームPL2を遅延させるため、まず第1のビームPL1が加工対象物20に到達し、その後第2のビームPL2が到達する。

【0018】図2(C)は、第1のビームPL1の照射により形成された穴の断面形状を示す。第1のビームPL1のパワー密度分布がガウス分布に近似されるため、中心部が深いU字型の穴が形成される。図2(D)は、第2のビームPL2が照射された後の穴の断面形状を示す。第2のビームPL2により穴の側面が削られ、側面の切り立った断面形状の穴が得られる。

【0019】上記第1の具体例においては、光学素子11としてアキシコンテレスコープを用いた場合を説明したが、アキシコンテレスコープの代わりに、ビームの中心部のパワー密度を低下させ、周辺部のパワー密度を高

めることができる他の光学素子を用いてもよい。このような光学素子として、例えば非球面レンズ等が挙げられる。

【0020】次に、図3を参照して、上記実施例の第2の具体例について説明する。第2の具体例では、光学素子10の位置に周波数チャープを生じさせる素子を配置し、光学素子11の位置にチャープ補償を行う素子を配置し、光学素子12の位置に遅延素子を配置する。周波数チャープを生じさせる素子として、例えば自己位相変調効果を持つ光ファイバを用いることができる。チャープ補償を行う素子として、例えばグレーティング対を用いることができる。

【0021】図3(A)は、光軸25上において第1のビームPL1と第2のビームPL2とが時間軸上で重ならない場合の両者のパルス波形を示す。第1のビームPL1は、周波数チャープを受けているため、比較的に長いパルス幅を有する。第2のビームPL2は、チャープ補償されているため、比較的に短いパルス幅を有する。

【0022】第1のビームPL1が加工対象物20に照射されることにより、加工対象物20のビーム照射点が加熱される。ピークパワーが低い場合、穴は形成されないか、もしくは浅い穴が形成される。第1のビームPL1の照射点が冷却されないうちに、第2のビームPL2が照射される。第2のビームPL2の照射により、その照射点に深い穴が形成される。

【0023】赤外域のレーザ照射により穴開けが行われるのは、レーザの熱的効果によると考えられる。すなわち、レーザ照射を行うと、加工対象物の照射点近傍が溶融し、蒸発する。穴開けすべき位置が冷却されないうちに第2のビームPL2が照射されるため、比較的容易に穴が開く。穴が形成された後も、加工対象物を溶融させるのに十分なパワーのレーザビームが照射されていると、穴の側壁上に溶融層が形成され、それが除去されずに固化してしまうため、加工品質の低下につながる。このため、所望の形状の穴を形成することが困難になる。図3(A)に示した第2のビームPL2は、短パルス化されており、そのパルス波形の立ち下がりが急峻である。このため、穴が形成された後に、穴の周囲の材料が溶融することを防止し、所望の形状の穴を形成することができる。

【0024】図3(B)は、第2のビームPL2が第1のパルスPL1の立ち下がり部分に重なった場合のパルス波形を示す。両者が重なったパルスは、その立ち上がりからピークパワーに達するまでの時間が、ピークパワーに達してから立ち下がり完了までの時間よりも長くなるようなパルス波形を有する。または、ピークパワーの1/2のパワーになる時刻における立ち上がり部分の傾きの絶対値が、立ち下がり部分の傾きの絶対値よりも小さくなるようなパルス波形を有する。図3(B)に示したパルス波形においても、その立ち下がりが急峻である

ため、所望の形状の穴を形成することができる。

【0025】上記具体例では、光学素子10の位置にチャープ素子を配置し、光学素子11の位置にチャープ補償素子を配置し、光学素子12の位置に遅延素子を配置したが、これらの配置には、他の組み合わせも考えられる。例えば、光学素子11の位置にチャープ素子を配置し、光学素子12の位置に遅延素子を配置してもよい。この場合、第2のビームPL2が、第1のビームPL1よりも遅延するとともに、第2のビームPL2のパルス幅が、第1のビームPL1のパルス幅よりも短くなる。なお、光学素子11の位置に配置したチャープ素子の後に、さらにチャープ補償素子を配置すると、第2のビームPL2を第1のビームPL1よりも短パルスにすることができる。チャープ素子として光ファイバを用いると、チャープ素子に遅延素子を兼ねさせることができる。

【0026】次に、他の具体例について説明する。光学素子11の位置に光ファイバ等の遅延素子を配置すると、第1のビームPL1と第2のビームPL2とが少しだけずれて重なる。これにより、パルス幅を長くすることができる。第2のビームPL2の遅延時間を変えることにより、第1のビームPL1と第2のビームPL2とが重畳されたパルスの幅を変えることができる。また、第2のビームPL2が第1のビームPL1に重ならない程度まで遅延時間を長くすると、2つのパルスが時間軸上で並んだパルス列を形成することができる。

【0027】光学素子11の位置にズームレンズを配置すると、加工対象物20の表面上における第2のビームPL2のスポットサイズを変えることができる。第1のビームPL1と第2のビームPL2とを重ねて照射すると、ビームスポットのパワー密度分布の裾野が広くなる。第2のビームPL2を遅延させると、最初に高パワー密度で小さな領域にレーザ照射し、続いてより広い領域に低パワー密度でレーザ照射を行うことができる。逆に、最初に低パワー密度で広い領域にレーザ照射し、続いて高パワー密度で小さな領域にレーザ照射を行うことも可能である。

【0028】光学素子11の位置に波長変換素子を配置すると、第2のビームPL2の波長と第1のビームPL1の波長とを異ならせることができる。波長変換素子として、例えばオプティカルパラメトリック発振器を用いることができる。これにより、2つの波長の成分を含むパルスレーザビームを同時に照射することができる。加工に適した波長は、材料によって異なる。2つの波長の成分を含むパルスレーザビームを同時に照射して穴開け加工を行うことにより、穴の形状を所望の形状に近づけることができる場合があるであろう。

【0029】光学素子11の位置にレーザ増幅器を配置し、光学素子12の位置に遅延素子を配置すると、加工対象物20に、第1のビームPL1を照射し、続いて高

7

パワーの第2のビームPL2を照射することができる。

【0030】光学素子11の位置にポッケルス素子等の電気光学素子と偏光板との組み合わせ、または音響光学素子を配置すると、第2のビームPL2の時間波形から特定の一部分のみを切り出すことができる。

【0031】光学素子11の位置にマスクを含むイメージリレー光学系とビームエキスパンダとを配置すると、ビーム径を大きくするとともに、ビーム断面内のパワー密度分布（ビームプロファイル）の裾引き部分を切り落とすことができる。この組み合わせは、例えば金属膜でコーティングされた樹脂基板への穴あけ加工等に適用している。例えば、短パルスの第1のビームPL1で金属膜に穴あけを行い、ブロードな第2のビームで樹脂基板に穴あけを行うことができる。ブロードな第2のパルスのビームプロファイルが整形されているため、高い加工品質を得ることができる。

【0032】上記実施例では、第1のビームPL1と第2のビームPL2との1パルスあたりのエネルギーが等しいものとしたが、両者の1パルスあたりのエネルギーを異ならせてもよい。光学素子10の位置にファラデー回転子、1/2波長板、あるいは1/4波長板等を配置して偏光方向を制御すると、偏光板3によるエネルギー分配率を制御することができる。さらに、光学素子11の位置に遅延素子を配置すると、1パルスあたりのエネルギーの異なる2つのパルスを、加工対象物20に、所定の時間間隔で照射することができる。

【0033】また、光学素子10の位置に電気光学素子を配置し、時間によって偏光方向を変えると、偏光板3によるエネルギー分配率を時間的に変化させることができる。例えば、第1の期間はP成分を0にし、他の第2の期間はS成分を0にすると、第1の期間には第1のビームPL1のみの照射を行い、第2の期間には第2のビームPL2のみの照射を行うことができる。すなわち、パルスレーザビームを、第1のビームPL1と第2のビームPL2とに、パルス単位で振り分けることができる。第1の期間と第2の期間とを、レーザ光源1のパルスの

8

繰り返し周期と同一の周期で切り替えると、第1のビームPL1の照射と第2のビームPL2の照射とを交互に行うことができる。

【0034】以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、パルスレーザビームを2つのビームに分割し、一方のビームの光学的性質を変化させることができる。一方のビームの光学的性質を変化させた後、2つのビームを同一の光軸に沿って伝搬させ、加工対象物上に照射する。これにより、加工対象物上に照射されるビームの特性を、レーザ加工に適したものにすることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例によるレーザ加工装置の概略図である。

【図2】本発明の実施例の第1の具体例による方法で用いられる第1及び第2のビームのビーム断面内のパワー密度分布を示すグラフ、第1のビーム照射により形成される穴の断面図、及び第2のビームを照射した後の穴の断面図である。

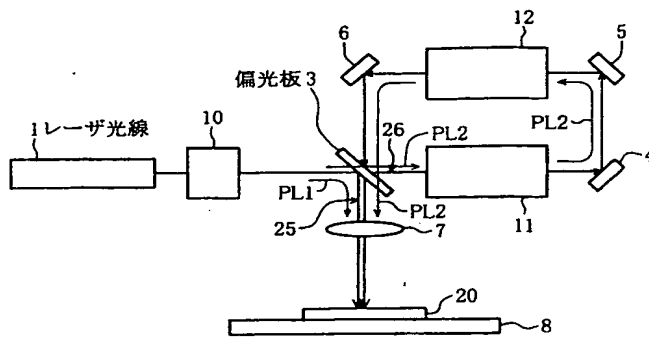
【図3】本発明の実施例の第2の具体例による方法で用いられる第1及び第2のビームのパルス波形を示すグラフである。

【符号の説明】

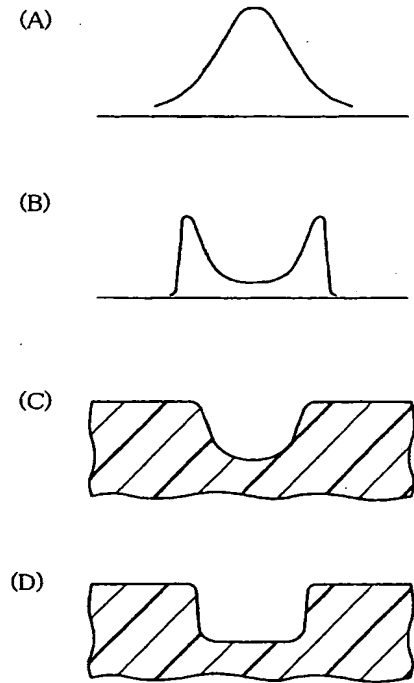
- 1 レーザ光源
- 3 偏光板
- 4、5、6 反射ミラー
- 7 集光光学素子
- 8 ステージ
- 10、11、12 光学素子
- 20 加工対象物
- 25 第1の光軸
- 26 第2の光軸

【図 1】

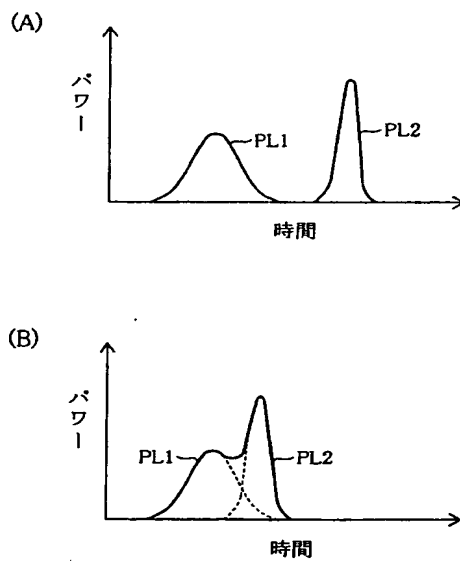
レーザ加工装置



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

H 01 S 3/00

識別記号

F I

G 02 B 27/00

テーマコード(参考)

E